

# 工业有害气体泄漏安全监护系统设计

朱亮<sup>1,2</sup>, 严龙<sup>1,2</sup>, 邹兵<sup>1,2</sup>, 张贺<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司 青岛安全工程研究院, 山东 青岛 266071;

2. 化学品安全控制国家重点实验室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 针对石化工业生产现场有害气体泄漏风险, 现场工人作业时的安全监护问题, 开发了一种基于 GPRS 的工业有害气体安全监测系统, 给出了系统体系结构和软硬件实现方法; 基于 STM32F103 微处理器完成了便携式个体安全检测仪器硬件开发和软件设计, 包括有害气体浓度检测、精确定位、GPRS 无线传输等功能; 采取 B/S 结构完成了气体安全监测系统软件开发, 包括技术架构、功能实现、软件测试等; 实验室功能测试和现场安全监护测试结果表明: 该系统检测有害气体浓度精确、功能多、稳定、实用性强, 可应用于石化企业个体安全防护、事故应急处置、危险场所作业安全监护等领域。

**关键词:** 有害气体; 泄漏; 安全; 监测系统

## Design of Safety Monitoring System for Industry Harmful Gases

Zhu Liang<sup>1,2</sup>, Yan Long<sup>1,2</sup>, Zou Bing<sup>1,2</sup>, Zhang He<sup>1,2</sup>

(1. Qingdao Safety Engineering Institute, SINOPEC, Qingdao 266071, China;

2. State Key Laboratory for Safety Control of Chemicals, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** For the harmful gases leakage risk and safety monitoring problem for workers in production field, therefore, a safety monitoring system for petrochemical harmful gases based on GPRS is designed, introduced system architecture and the implementation method of software and hardware. Complete the hardware development and software design for personal portable safety detect instrument on the basis of STM32F103, including the functions of harmful gases concentration detection, pinpoint and GPRS wireless transmission and so on. Complete the software development of gas safety monitoring system by using the B/S structure, including technology architecture, function realization, software test and so on. According to the result of laboratory functional test and safety monitoring test in production field, the system has remarkable concentration accuracy, many functions, good stability and strong practicability and can be used in several fields, such as individual safety protection, accident emergency disposal, safety monitoring in dangerous site and so on.

**Keywords:** harmful gases; leakage; safety; monitoring system

## 0 引言

在石化工业生产过程中存在多种有毒有害气体, 例如:  $H_2S$ 、 $CO$ 、 $SO_2$ 、 $CH_4$ 、 $NO_x$  等, 一旦泄漏, 不仅造成空气污染, 还威胁着现场作业人员的人身安全<sup>[1]</sup>。目前, 企业普遍使用的是便携式气体报警器用于现场作业人员的个体防护, 遇到有害气体泄漏时, 给携带者提供报警提示<sup>[2-3]</sup>, 然而, 其他人员无法了解现场情况, 不能及时了解现场环境、人员情况, 给事故应急处置带来不便。为了实时了解现场作业人员工作状态、工作位置、工作环境有害气体浓度等信息, 有效保障其安全, 迫切需要一套工业有害气体安全监护系统。本文提出了一种基于 GPRS 网络的有害气体安全监护系统, 详细阐述了系统特点和体系结构、便携式个体安全检测仪器软硬件设计、监控管理软件设计, 最后介绍了试验情况。

## 1 系统结构和特点

### 1.1 系统结构

工业有害气体安全监护系统包括便携式个体安全检测仪器和安全监护管理软件两部分组成。便携式个体安全检测仪器具

备检测有害气体浓度、携带者状态、定位、报警等功能, 通过 GPRS 基础网络将检测数据实时上传到数据服务器, 同时, 可以接收服务器短消息, 获取监护人员提供的安全预警信息。安全监护人员通过移动平台或者电脑利用安全监护管理软件查看生产现场工作人员所处位置、安全状态、现场有害气体浓度等信息, 全面掌握某一区域有害气体浓度分布、现场人员状态等, 根据区域有害气体浓度变化、人员活动状态变化做出预警处理, 并且将预警信息发送给现场作业人员<sup>[4]</sup>。安全监护系统结构如图 1 所示。

### 1.2 系统特点

本文提出的工业维护气体泄漏安全监护系统可以实时将生产现场工人所处位置、活动情况、周围环境有害气体浓度等信息汇集到数据服务器, 监护人员及时了解现场工人所处环境的危害情况, 根据危害程度不同给出预警, 保障现场作业工人人身安全。该系统具有以下特点: 1) 可以检测多种有毒有害气体, 例如  $H_2S$ 、 $CO$ 、 $SO_2$ 、 $CH_4$ 、 $NO_x$  等; 2) 采取 GPS 与 RFID 相结合的定位方式, 定位精确; 3) 携带者安全状态实时监护; 4) 支持短消息功能, 方便现场作业人员安全监护预警; 5) 便携式气体检测仪器符合安全防爆要求, 可用于防爆 1 区; 6) 基于 GPRS 组网, 扩展性好, 易于部署, 适合于大规模推广应用。

收稿日期: 2014-05-01; 修回日期: 2014-06-23。

基金项目: 青岛市科技发展资金项目(2011-5-031-QT)。

作者简介: 朱亮(1982-), 男, 山东青岛人, 硕士, 工程师, 主要从事工业安全仪表研发、石化企业泄漏检测等方面的研究。

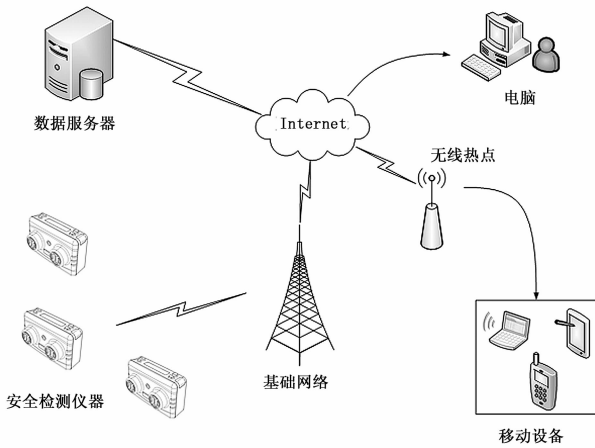


图 1 系统结构图

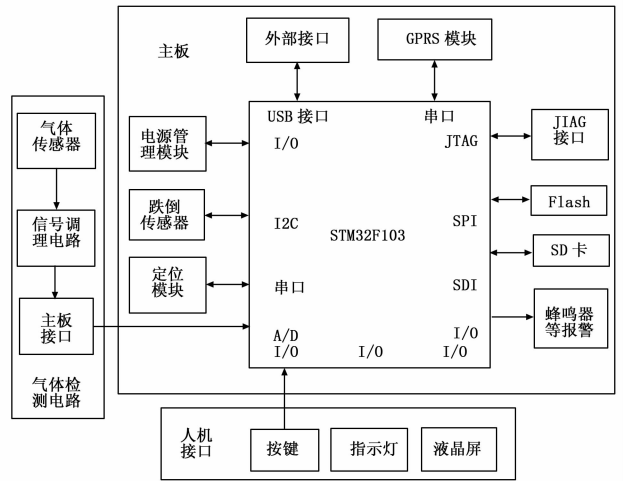


图 2 个体安全检测仪器硬件结构图

## 2 个体安全检测仪器设计

### 2.1 硬件设计

为了达到工业应用要求,个体安全检测仪器采用工业级微处理器 STM32F103 为核心,外接各功能模块实现所有功能要求,硬件结构如图 2 所示。有害气体传感器经过调理电路处理后输出模拟信号给微处理器,实现气体浓度检测功能;精确定位采用 GPS 和 RFID 相结合的方式,石化生产装置空旷区域采取 GPS 定位方式,生产装置平台或受限空间等区域(无 GPS 信号)采用 RFID 射频卡定位方式,这两个模块通过两个串口连接到微处理器;人体状态通过三轴加速度传感器监测实现,结合浓度和区域风险等级信息综合判断现场作业人员是否发生危害情况<sup>[5]</sup>;GPRS 模块通过串口连接到微处理器,周期上传检测数据到服务器,同时,微处理器扩展了数据存储控制功能,可以实现检测数据本机存储;按键、指示灯、开关机、液晶屏、报警等功能通过 I/O 控制实现;充电与数据传输通过 USB 接口实现。

为了达到仪器携带方便,操作简单,采取硬件分块布局方式,仪器包括 3 块电路组成:人机接口电路、气体检测电路和主板电路。人机接口电路集成了按键操作、指示灯和液晶显示功能;气体检测电路包括传感器信号调理电路,预留传感器和主板电路标准接口;其他功能模块都集成在主板电路中。

### 2.2 软件设计

个体安全检测仪器要求及时检测环境有害气体浓度、携带者活动状态等,通过 GPRS 及时上传数据到服务器,同时,集成了菜单操作、各种报警、实时时钟等,集成功能多,数据处理复杂,合理的软件结构是仪器稳定运行的基础。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  作为一种源代码公开的嵌入式操作系统,具有执行效率高、占用空间小、实时性能优良和扩展性强等特点,使用可剥夺型的内核,所有时间要求苛刻的事件都能得到快捷、有效处理,应用时,将应用程序设计为一些独立的任务,不仅使应用程序的设计过程大为简化,而且在时间处理上有保证,非常适合个体安全检测仪器的应用需求<sup>[6-7]</sup>。图 3 所示是该仪器软件结构图。

首先,完成  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  实时内核在 STM32F103 硬件平台上的移植,相关代码包含在文件 OS\_CPU.H、OS\_CPU\_C.C、OS\_CPU\_A.S 中,重新定义与 STM32F103 相关的数据类型、宏、结构体、任务堆栈初始化和上下午切换函数;之后,完成仪器各功能模块驱动程序开发,包括 I/O 口设置、电

源管理、定时器设置、A/D 转换、有害气体检测数据处理、跌倒检测模块、GPS 定位、液晶显示、数据存储、无线传输等;最后,完成了应用层程序开发,相关代码包含在 MENU.C、TASK\_INIT.C 和 TASK\_GUI.C 三个文件中,将仪器各项功能分配在多个任务中实现,并且通过 OS\_CFG.H、HW\_CFG.H 和 APP\_CFG.H 配置操作系统资源、硬件资源、任务内存和堆栈大小,保证系统仪器各项功能实现和软件稳定运行。

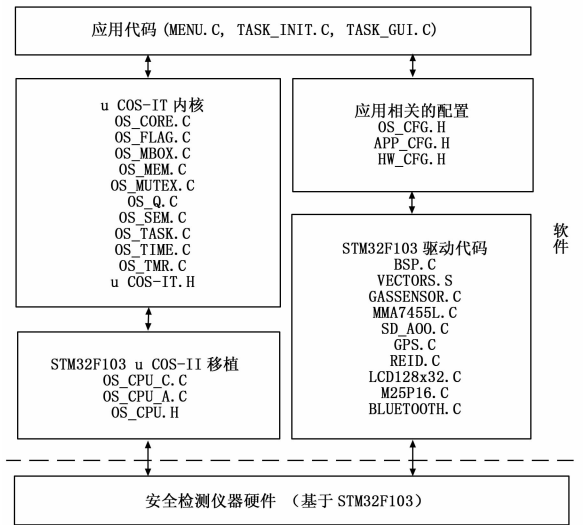


图 3 个体安全检测仪器软件结构图

### 2.3 防爆设计

石化企业存在多种有害气体,还有一些易燃易爆气体,例如甲烷、乙烷等,由于泄漏等原因生产现场容易形成爆炸性气体环境,作为现场人员使用的个体安全检测仪器,必须符合爆炸性环境使用要求标准,达到特定区域使用的防爆等级。该仪器防爆设计时需要处理好以下几点:1) 有害气体传感器防爆;2) 电池防爆;3) 电路板防爆;4) 便携式仪器结构外壳。针对这些防爆关键点,分别采取了以下措施:1) 选用国际大品牌气体传感器产品,本身已经达到了本质安全/隔爆要求;2) 为了保证仪器足够的续航时间,选用了大容量聚合物锂电池,

在防爆设计时设计了电池保护电路,并且与电池一起单独封装;3)其他电路设计时,避免采用大容量储能元器件,例如大容量电容、电感等,电源充放电管理电路设计了阻塞电路,避免了短路、大电流等情况引起的防爆安全隐患;4)在仪器外壳设计时,数据存储卡和 GPRS 通信卡完全密封在仪器外壳内部,通过一体化设计方式,仅留有有害气体传感器与大气联通窗口,不仅达到了防爆要求,而且符合相应的防护等级要求。通过以上防爆设计,整个仪器符合本质安全防爆要求,达到了防爆 1 区使用的要求<sup>[8]</sup>。

### 3 安全监护软件设计

#### 3.1 技术架构

安全监护管理软件用于保存个体安全检测仪器上传的数据,同时,给安全监护人员提供监护界面,监护现场作业人员位置、状态、周围环境有害气体浓度等。系统采用 B/S (Browser/Server) 架构设计完成, B/S 结构能实现不同的人员,从不同的地点,以不同的接入方式访问和操作共同的数据库,能有效地保护数据平台和管理访问权限,保障数据库服务器的安全,特别是在 JAVA 这样的跨平台语言出现之后, B/S 架构管理软件更是方便、快捷、高效。基于 J2EE 架构,采用 MVC 设计模式,应用业界最佳实践的面向服务架构 (SOA),最大程度保证整个系统的兼容性和开放性。

#### 3.2 监护管理功能

安全监护管理软件主要功能有有害气体种类维护、安全监护仪器维护、射频卡信息维护、厂区信息维护、检测数据展示、ArcGis 图形展示;报警信息实时推送、短消息推送等。有害气体种类维护,包括物理特性、应急措施、报警设置等子项;安全监护仪器维护,包括仪器基本信息、携带人员、所处工作区域等子项;射频卡信息维护,包括卡片编号、放置位置子项;厂区信息维护,根据不同应用需求,可以分公司、车间、班组、装置区等单元部署安全监护系统;检测数据展示,可查看实时数据、历史数据、厂区数据;ArcGis 图形展示,基于 ArcGis 地图或者厂区平面图实时跟踪携带者位置,实时掌握区域内携带者状态、环境有害气体浓度分布。

### 4 实验结果

实验分为个体安全检测仪器功能测试和安全监护系统安全监护功能测试两部分,前者主要测试仪器各项功能指标,后者主要测试系统安全监护能力。

#### 4.1 仪器功能测试

测试选用了一台检测 H<sub>2</sub>S 和 CH<sub>4</sub> 两种有害气体浓度的仪器,在实验室开展了测试实验。主要测试 H<sub>2</sub>S 浓度检测、CH<sub>4</sub> 浓度检测、RFID 读卡、人机操作等功能。如表 1 所示。

从表 1 测试结果可以看出,该仪器有害气体浓度检测精度高、RFID 读卡范围大、性能稳定、人机操作方便。

#### 4.2 安全监护功能测试

测试选用了 4 台能同时检测 H<sub>2</sub>S 和 CH<sub>4</sub> 两种有害气体浓度的仪器,在某炼油厂生产装置现场开展测试,由工人携带这些仪器开展现场工作作业,通过监测管理软件监测现场作业人员的安全,测试无线数据传输、GPS 定位、携带者跌倒检测、报警、短消息提示等功能。如表 2 所示。

表 1 仪器功能测试

功能	测试目的	测试方法	测试结果
H <sub>2</sub> S 浓度	测试 H <sub>2</sub> S 浓度检测精度	标定完成后,测试浓度为 80 ppm 和 15 ppm 的 H <sub>2</sub> S 气体	测试结果分别为 80 ppm 和 16 ppm,示值误差小于 5%
CH <sub>4</sub> 浓度	测试 CH <sub>4</sub> 浓度检测精度	标定完成后,测试浓度为 39%LEL 和 60%LEL CH <sub>4</sub> 气体	测试浓度分别为 39%LEL 和 59%LEL,示值误差小于 5%
RFID 读卡	测试读取 RFID 射频卡的范围	固定有源射频卡,携带仪器慢慢接近射频卡,直到仪器提示读卡成功为止	当仪器与射频卡之间的距离小于 5 m 大于 3 m 时,出现过读卡成功,也出现过读卡失败,当二者之间的距离不大于 3 m 时,每次都能读卡成功
人机操作	测试仪器操作、显示等	操作菜单各项功能,包括参数设定、标定操作液晶屏显示等	菜单操作正确无误,液晶显示正常
持续工作能力	测试稳定性、电池续航时间	仪器充满电后设置 GPRS 数据上传周期为 60 s,开机工作	仪器可以续航 20 小时以上,未出现死机情况,运行正常

表 2 安全监护功能测试

功能	测试目的	测试方法	测试结果
无线传输	测试数据传输能力	设定 GPRS 数据传输周期为 120 s,之后增长和缩短传输周期	数据传输周期小于 15 s 时,会出现丢数据包情况,大于 15 s 时数据传输稳定正确
GPS 定位	测试定位时间,定位切换	携带者在生产装置区活动,包括空旷区域和装置平台	在空旷区域开机后 30 s 以内会获取到 GPS 信号,装置平台下出现 GPS 信号丢失情况,此时自动切换到 RFID 定位模式
跌倒检测	测试跌倒检测准确性	正确佩戴仪器在胸前,在生产装置现场开展正常工作活动	安全监护软件监测到多次报警,经确认后发现除正常监测到跌倒外,存在误报警情况
报警	测试有害气体浓度报警响应	携带者在生产装置区活动	超过报警值时刻及时监测到携带者位置、状态,仪器和监护软件分别报警
短消息	测试发送预警提示功能	监测管理软件给仪器发送短消息	3 s 以内仪器携带者接收到安全预警提示消息

从表 2 测试结果可以看出,安全监护管理软件可同时监护多个携带者安全状态、某个作业区域有害气体浓度、人员活动位置等信息,根据浓度报警信息给相关人员发送安全预警短消息信息,携带者跌倒检测报警过于灵敏,需要根据不同的应用需求订制优化。

## 5 结论

针对石化工业生产过程中有害气体泄漏, 现场作业人员安全监护问题, 提出了一种基于 STM32F103 和 GPRS 网络的气体泄漏安全监护系统, 给出了系统结构、个体安全检测仪器软硬件设计、安全监护管理软件设计, 并且进行了仪器功能测试和安全监护功能测试。实验结果表明: 该系统有害气体浓度检测精度高、定位精确、无线传输范围广、实用性强、运行稳定, 可应用于石化气体个体安全防护、事故应急处置、危险场所作业安全监护等领域。

### 参考文献:

- [1] 吴 迪, 黄润风, 柯燕燕, 等. 基于无线传感器网络的空气污染实时监测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (7): 1756-1758.

(上接第 3 页)

3) 系统部分功能模块出现周期性崩溃现象。鉴定期间, 系统的硬件故障很少发生, 且只出现在备份系统上, 但系统的一些应用软件出现了周期性的崩溃现象, 有个别模块每个月要崩溃约 10 分钟, 需要重启系统。

4) 结束维修任务困难<sup>[10]</sup>。每完成一项维修任务都需要多重的数字签名。鉴定期间, 有一项大的维修任务包含了 18 个分任务, 每个任务完成前都需要签名, 即便是最常见的任务(如飞机加油)也需要由 3 个人在系统中分别签名才能完成。鉴定期间, 发生过因维修任务未签完, 自主式保障系统不能释放飞机, 导致飞机起飞推迟的事故。

## 5 总结与展望

从目前的情况看, PHM 在一定程度上代表了 21 世纪装备保障的发展方向, 但实现起来涉及到大量基础设施的建设、先进技术的开发、各种资源的整合以及技术人员的培训等问题, 在管理和技术方面都面临着很大的挑战, 即使是美军也难以在短时间内完全解决上述问题。因此, F-35 战斗机正式列装后, 能否完全实现理想的所有功能目前还是未知数。但可以肯定的是, 一旦状态预测与健康管理得以实现和推广, 必将带来美军装备保障能力的整体飞跃。从美军实践和 PHM 技术发展看, 实现 PHM 必须重视两方面工作。

1) PHM 技术研究必须从部件做起。PHM 是一个复杂的系统工程, 从应用对象上看, PHM 涉及装备的机体结构、动力系统、电子系统等系统级、分系统级、部件级各个层次, 不同对象所面临的问题与故障预测方法差别很大; 从关键技术上看, PHM 涉及状态监测、故障诊断、故障预测、健康管理、辅助决策等内容, 需要突破状态监测、数据融合与挖掘、特征参数提取、故障模式识别、建模与验证等众多关键技术, 每一个环节都非常重要。因此, PHM 技术研究必须从基础的部件做起, 掌握故障演变规律, 逐级向分系统级和系统级延伸。

2) PHM 必需重视基础的状态监测。状态监测是 PHM 核心技术之一, 是装备健康管理的“温度计”和“报警器”, 是

- [2] 冯省利. 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范的应用体会 [J]. 石油化工自动化, 2012, 48 (3): 16-20.
- [3] 工作场所有毒有害气体检测报警的法规和技术要求 [J]. 中国安全科学学报, 2010, 20 (2): 121-127.
- [4] 金琴芳. 对集中工业区废气安全监测预警系统的研建 [J]. 环境研究与监测, 2013 (6): 11-13.
- [5] 程松柏, 陈国华. 石化装置泄漏易发性预测方法应用研究 [J]. 灾害学, 2008, 23 (2): 106-111.
- [6] 马莹莹, 张少龙, 杜暖男. ARM-Linux 平台下的传感器阵列毒气监测系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (11): 2957-2959.
- [7] 任 哲. 嵌入式实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  原理及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [8] GB3836. 爆炸性环境用防爆电气设备 [S]. 国家质量监督检验检疫总局, 2010.

装备故障预测的“触发器”, 是故障预测的“初始值”, 是 PHM 不可或缺的重要组成部分。状态监测涉及装备可测试性设计, 特别是涉及装备当中是否预埋传感器问题, 以及如何合理设置传感器等问题, 必须引起足够重视。如果没有完善的状态监测作为支撑, 就有可能漏过不易察觉的故障隐患。

### 参考文献:

- [1] Andrew Hess, Giulio Calvello. PHM the Key Enabler for the Joint Strike Fighter (JSF) Autonomic Logistics Support Concept [A]. 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings [C]. 2004: 3544-3545.
- [2] Hess A. The Joint Strike Fighter Prognostic and Health Management [Z]. JSF Program Office.
- [3] US Department of Defense. CBM\_DoD\_Guidebook [Z]. 2008: 6-14.
- [4] Philip L. Dussault. Creating a Closed Loop Environment for Condition Based Maintenance Plus (CBM+) and Prognostics Health Management [A]. 2007 IEEE Aerospace Conference Proceedings [C]. 2007: 327-331.
- [5] Carl S. Byington. A Model-Based Approach to Prognostics and Health Management for Flight Control Actuators [A]. 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings [C]. 2004: 3551-3562.
- [6] Boeing Company Team One. Maintenance Execution, JSF Engineering and Manufacturing proposal Volume III, Affordability [Z]. 2005: 263-266.
- [7] Boeing Company Team One. PHM maintenance planning, JSF Engineering and Manufacturing proposal Volume III, Affordability [Z]. 2005: 267-268.
- [8] Boeing Company Team One. Maintenance mission completion, JSF Engineering and Manufacturing proposal Volume III, Affordability [Z]. 2005: 269-272.
- [9] Director, Operational Test and Evaluation. F-35A operational test and evaluation report [R]. 2012. 12: 49-51.
- [10] Director, Operational Test and Evaluation. F-35A operational test and evaluation report [R]. 2012. 12: 57-58.